مقاله کوتاه

بررسی تحلیلی رفتار دیوار آجری تقویت شده با شبکه آرماتور و شاتکریت

فریبرز ناطقی الهی*، سروش قدس**

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

(دریافت مقاله: ۸۳/۳/۴- دریافت نسخه نهایی: ۸۵/۱/۱۶)

چکیده – یکی از روشهای موثر برای مقاوم سازی ساختمانهای آجری اعمال شاتکریت مسلح شده با شبکه آرماتور به سطح دیوار است. برای ارزیابی رفتار دیوار آجری تقویت شده با روکش نمی‌توان از روشهای تحلیلی مبتنی بر معادلات ساده نظریه الاستیسیته استفاده کرد، لذا به‌کارگیری روشهای عددی در این زمینه اجتناب ناپذیراست.

در این پژوهش برای ارزیابی رفتار دیوار آجری تقویت شده با روکش مسلح، مدلسازی دیوار آجری با استفاده از نرم افزار المان محدود ANSYS انجام گرفته است. برای اطمینان از صحت مدلسازی ، از نتایج آزمون آزمایشگاهی برای کالیبراسیون مدل استفاده شده است. سپس مدل کالیبره شده برای مدلسازی دیوار تقویت شده تعمیم داده شده و در نهایت نتایج تحلیل دیوارهای آجری ساده و نظیر تقویت شده آنها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

واژگان کلیدی : ترک خوردگی، دیوار آجری، شاتکریت، شبکه آرماتور، منحنی هیسترزیس.

Analytical Assessment of the Behaviour of the Masonry Wall Strengthed by Steel Mesh and Shotcrete

F. Nateghi, and A. S. Ghods

International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

Abstract: ***An effective approach for strengthening masonry buildings is to apply shotcrete reinforced with mesh on the surface of the wall. It is not possible to assess the behaviour of coated walls solely using analytical approaches based on simple equations of theory of elasticity without the use of numerical methods. Unreinforcced masonry wall is modelled in this study using the finite element software "ANSYS" to assess the behavior of walls strengthened with reinforced jacket. The accuracy of the model is ensured by calibrating the model against results obtained from laboratory tests. Then the calibrated model is***

* – استاد ** – کارشناس ارشد سازه

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.2.15.7]

generilized to model the strengthed wall and, finally, the analytical results obtained from masonry walls and strengthed walls are compared and evaluated.

Keywords: *ANSYS, Masonry wall, Shotcrete, Solid65 , Steel mesh.*

۱- مقدمه

یکی از روشهای موثر و آسان در مقاوم سازی ساختمانهای بنایی استفاده از روکش بتن مسلح به روی سطح دیوار است که معمولا به‌صورت بتن پاشیده به سطح دیوار اعمال می‌شود اعمال روکش بتن مسلح به دیوار باعث افزایش سختی، مقاومت و نیز بهبود مشخصات لرزه‌ای دیوار آجری می‌شود.

علی‌رغم اینکه اعمال این روش به‌سادگی ممکن است لیکن بررسی کمی میزان افزایش مقاومت و همچنین ارزیابی رفتار دیوار تقویت شده با شبکه آرماتور و شاتکریت با روابط تحلیلی ساده امکانپذیر نیست. در سالهای اخیر روشهای عددی برای بررسی رفتار دیوارها و ساختمانهای بنایی گسترش یافته‌اند لیکن نتایج این تحلیلها زمانی قابل اعتماد است که نتایج آنها با آزمونهای آزمایشگاهی نمونه‌های مشابه تطبیق داده شود.

لذا در این پژوهش به‌منظور ارزیابی مقاومت دیوار آجری تقویت شده ، در ابتدا مدل المان محدود دیوار آجری غیر مسلح به‌کمک نرم افزار المان محدود ANSYS مورد تحلیل قرار گرفته و از نتایج نمونه آزمایشگاهی متناظر با آن برای تطابق و کالیبراسیون مدل بهره گیری شده است. در مرحله بعد مدل کالیبره شده برای بررسی رفتاردیوارتقویت شده تعمیم داده شده است و در نهایت از مقایسه پارامترهای رفتاری دیوار آجری غیرمسلح و نظیر تقویت شده آنها ، نتیجه گیری در مورد تاثیر روکش مسلح بر رفتار دیوار آجری به‌عمل آمده است.

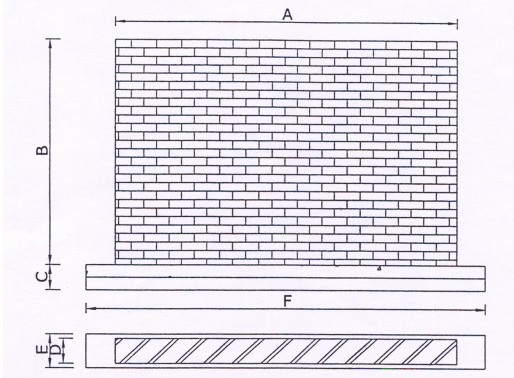
۲- آزمایش مقاومت جانبی دیوار آجری غیر مسلح

نتایج آزمایشگاهی استفاده شده در این پژوهش مربوط به گزارش آزمون دیوار آجری غیرمسلح تحت عنوان «بررسی تجربی روشهای مقاوم سازی ساختمانهای آجری نیم اسکلت در برابر زلزله» است [۲]. در این آزمایش دیوار آجری غیرمسلح به کمک جک و به‌صورت استاتیکی تحت بار جانبی رفت و برگشتی قرار گرفته و آزمایش تا رسیدن به گسیختگی کامل دیوار آجری ادامه یافته است. با توجه به محدودیتهای آزمایشگاهی، دیوار آجری انتخابی در ابعاد واقعی با ضریب مقیاس ۱:۲ مدل شده است. شکل (۱) دیوار آزمون شده را نشان می‌دهد.

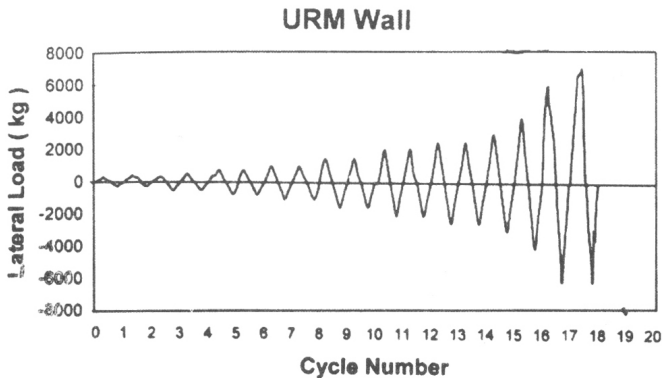
برای توزیع بار جانبی به‌صورت یکنواخت روی دیوار ، تیر بارگذاری بتنی در بالای دیوار به ارتفاع ۲۰ سانتیمتر اجرا شده است که در دو انتهای تیر صفحات فلزی با شاخک داخل تیر بتنی قرار گرفته‌اند که این صفحات در بارگذاری جانبی بار جکها را به تیر بتنی و نهایتاً دیوار آجری انتقال می‌دهند. فونداسیون این دیوار داخل یک عدد ناودانی نمره ۳۰۰ که با پیچ و مهره به کف صلب آزمایشگاه محکم شده اجرا شده است[۲] آجرهای استفاده شده در دیوار مدل از نوع آجرهای فشاری (گری) است. مقاومت فشاری آجرهای مصرفی در محدودهٔ Mpa ۱۵ تا Mpa ۱٦ قرار دارد. ملات مصرفی در ساخت دیوار ملات ماسه سیمان با نسبت سیمان به ماسه ۱ به ٦ بوده که ملات مصرفی معمول در اجرای اکثر ساختمانهای بنایی است [۲]. بار قائم به کمک بستهای قورباغه‌ای و تیرهای فولادی به دیوار اعمال شده است. میزان بار قائم وارده برابر KN/M ۳۵/٤ است. بار جانبی اعمالی به کمک جکهای فشاری و قابهای بارگذاری که مثلثی‌اند و در طرفین دیوار قرار می‌گیرند در سیکلهای مختلف رفت و برگشتی به دیوار وارد شده است. شکل (۲) رژیم بار جانبی سیکلی اعمال شده به دیوار مدل شده را نشان می‌دهد.

"دراثر اعمال بار جانبی رفت و برگشتی تا پایان سیکل شانزدهم که بار ٤ تن بر دیوار اعمال شد هیچ‌گونه ترک یا شکستگی در دیوار مشاهده نشد. در مرحله رفت سیکل هفدهم

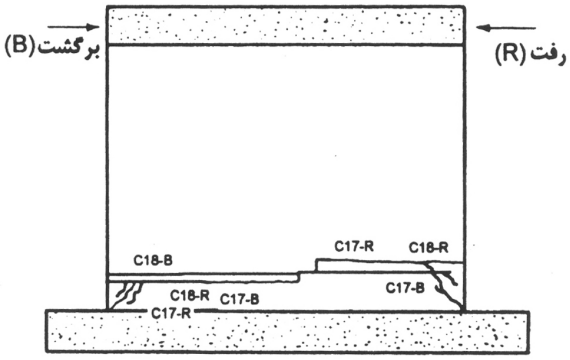
[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.2.15.7]



شکل۱- مشخصات هندسی نمونه اصلی و مدل آزمایشگاهی[۲]



شکل۲- رژیم بار جانبی سیکلی اعمال شده به دیوار مدل [۲]



شکل۳ - ترکهای ایجاد شده در دیوار آجری[۲]

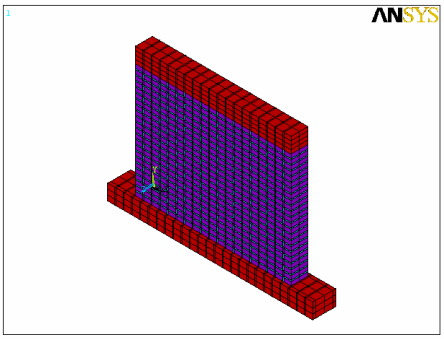
بار جانبی ٦تن به دیوار اعمال شد که باعث بروز تـرک خمـشی و تغییر مکان ناگهانی در دیوار شد که تا ۲/۳ طول دیـوار ادامـه یافت. در مرحله برگشت سیکل هفدهم نیز بار جانبی ٦ تن وارد شد که باعث بروز ترک در جهت مخالف شد که دقیقا در امتداد ترک ایجاد شده در مرحله قبـل قـرار گرفـت. در مرحلـه رفـت سیکل هجدهم بار ۷/۱ تن به دیوار اعمال شد که در این مرحله از بارگذاری ترکهای سـیکل قبلـی از هـم بـاز شـده و قـسمت فوقـانی دیـوار حـول محـور قـائم دوران کـرد. در ایـن مرحلـه خردشدگی در ناحیه فشاری دیوار ایجاد شد. در مرحلهٔ برگشت سیکل هجدهم ترک افقی جدید در ناحیه کششی دیـوار ایجـاد شد. این ترک تا حدود ۱/۵ سانتیمتر باز شده و سرانجام با ادامه بارگذاری اتصال مربوط به بارگـذاری قـائم بریـده شـده و کـار عملاً به اتمام رسید [٤]. شکل (۳) ترکهای ایجاد شده در دیـوار را نشان می‌دهد.

۳- مدل تحلیلی دیوار آجری

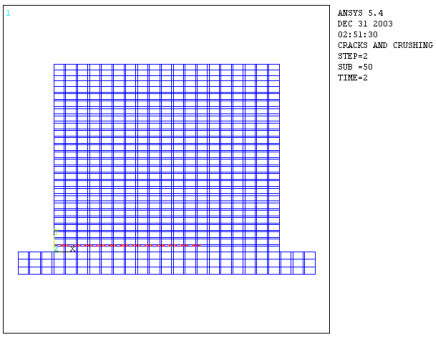
باتوجه به نتایج آزمایش فوق می‌توان مدل المان محدود این دیوار آجری را ساخت و از نتایج این آزمایش برای کالیبراسیون نتایج استفاده کرد. مدلسازی رایانه‌ای دیوار آجری با اسـتفاده از نـرم‌افـزار ANSYS5.4 و المـان SOLID65 انجـام شـد. از آنجایی‌که تنها المانی که در برنامـهANSYS توانـایی مدلـسازی ترک را دارد المان SOLID65 است، مـی‌تـوان آن‌را بـرای مـدل کردن دیوارها و ساختمانهای آجری به‌کاربرد.

این المان رفتاری ترد داشته و در اثر کشش تـرک‌خـورده و در فشار خرد مـی‌شـود. درواقـع ایـن المـان قابلیـت مدلـسازی مصالح بتنی را داراست و در سه جهت دلخواه می‌توان بـرای آن آرماتورگذاری تعریف کرد [۱]. باتوجه به اینکـه رفتـار اجـزای آجری (ملات و آجر) تا حدود زیادی نزدیک به رفتـار مـصالح بتنی است می‌توان دیوار آجری را به کمک این المان مدل کـرد.

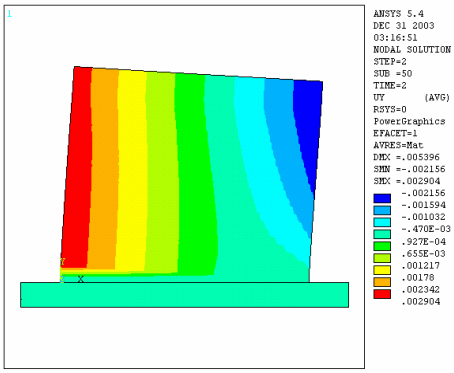
[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.2.15.7]



شکل ٤- مدل المان محدود دیوار آجری غیرمسلح [٤]



شکل ٥- ترک ایجاد شده در دیوار (بار جانبی رفت 60 KN) [۴]



شکل ٦- کانتور جابه‌جایی قائم در دیوار (بار جانبی 60KN)[٤]

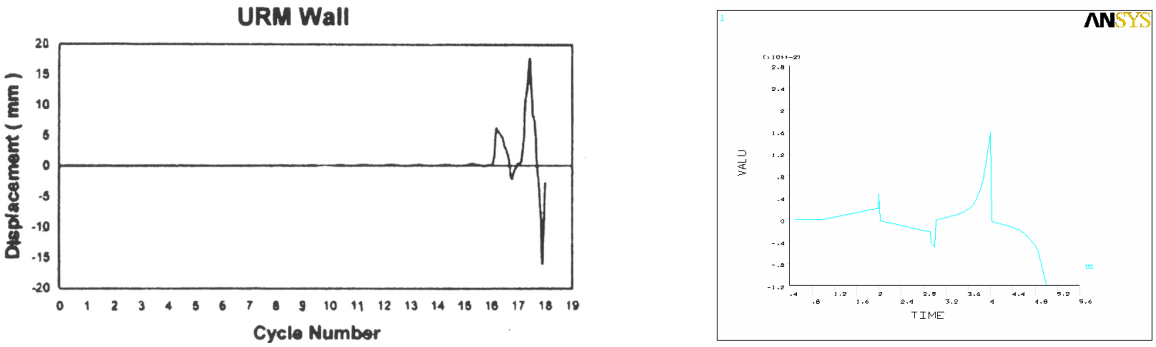
از آنجایی که هدف، ساخت مدل ناهمگن است، هم آجرها و هم ملات با استفاده از این المان، لیکن با درنظر گرفتن خصوصیات مقاومتی متفاوت برای هر یک مدل شدند.

ابعاد آجرهای درنظر گرفته شده در مدل رایانه‌ای ۲۰×۱۱×۵cm و ضخامت لایه‌های افقی و قائم ملات نیز برابر ۱/۵cm منظور شد. برای تطابق بیشتر مدل تحلیلی و نمونه آزمایشگاهی به لحاظ هندسی به‌صورت یک‌در میان در ردیف‌های متوالی دیوار، ردیف افقی دیوار با یک آجر نیمه آغاز شد. برای توزیع یکنواخت بار قائم و بار جانبی روی دیوار، مشابه نمونه آزمایشگاهی تیر بارگذاری به مقطع ۱۷/۵×۲۰cm و همچنین فونداسیون بتنی به ابعاد ۲۷۰×۳۰×۲۰cm مدلسازی شد. برای مدلسازی تیر و فونداسیون نیز از المان SOLID65 لیکن با مقاومت کششی و فشاری بالاتر استفاده شد. شکل (٤) دیوار مدلسازی شده را نشان می‌دهد.بار قائم وارد بر مدل عبارت است از بار گسترده خطی ۳۴/۳KN/M در تراز بالای تیرگذاری به‌صورت یکنواخت به آن وارد شد. علاوه بر این بار گسترده، نیروی وزن نیز با اعمال شتاب قائم برابر $g = ۹/۸۱ \frac{m}{s^۲}$ به مدل وارد شد. برای اعمال بار جانبی به تیر بارگذاری در مدل، بار متمرکز روی گره‌های انتهایی تیر بارگذاری پخش شد.

برای انطباق مدل رایانه‌ای و آزمایشگاهی بارها به‌صورت مرحله‌ای و مطابق با بارهای وارد شده در آزمون به مدل رایانه‌ای اعمال شد. لازم به‌ذکر است دیوار در اثربارگذاری جانبی ترک خورده وتحلیل غیرخطی شد، لذا بار به جهت همگرایی تحلیل به‌صورت تدریجی و در چندین زیرمرحله وارد شد. بررسی نتایج تحلیل مسئله در مراحل مختلف بارگذاری نشان از انطباق نسبتاً مناسب نتایج تحلیل با نتایج آزمایش داد. برای مثال به موارد ذیل می توان اشاره کرد:

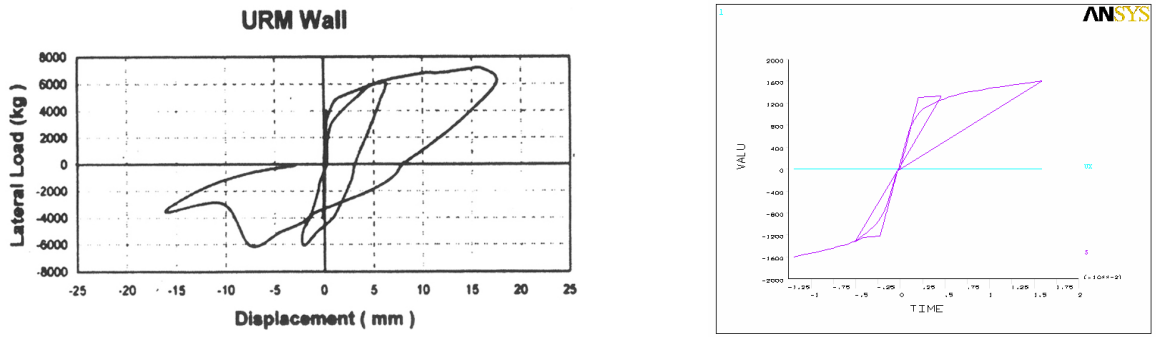
۱- نمودار جابه‌جایی افقی تحلیلی و آزمایشگاهی انتهای دیوار در شکل (۷) ترسیم شده است. (لازم به‌ذکر است در شکل ۷-الف نمودار جابه‌جایی تحلیلی انتهای دیوار به‌دلیل جابه‌جایی بسیار کم دیوار در محدوده الاستیک (قبل ترک) و به لحاظ محدودیت در حافظه رایانه تنها در

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.2.15.7]



(ب) آزمایشگاهی (الف) تحلیلی

شکل ۷–جابجایی افقی انتهای دیوار آجری[٤]



(ب) آزمایشگاهی (الف) تحلیلی

شکل ۸– مقایسه منحنی هیسترزیس دیوار آجری[٤]

محدوده پلاستیک رفتار دیوار ترسیم شده است). جابه‌جایی افقی در آزمون و تحلیل قبل از وقوع ترک کم بوده که پس از وقوع ترک به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد (در هر دو مورد حدود ۵ mm) ، همچنین میزان جابه‌جایی نهایی در هر دو مورد حدود ۱۵ mm است. همچنین بار وقوع ترک در دو مورد حدود ۶۰KN و بار نهایی حدود ۷۰KN است.

۲– در شکل(۸) تطابق منحنی هیسترزیس تحلیلی و آزمایشگاهی را می توان ملاحظه کرد.

۳– مکانیزم وقوع ترکها و گسترش آنها در مدل و آزمون شبیه یکدیگر بوده و منشا ترکها در هر دو خمشی است. شکل (۵) ترک خوردگی دیوار در اثر بار ۶۰ KN را نشان می دهد که (دایره‌های قرمز رنگ در شکل نشان دهندهٔ ترکها در جهت اصلی ۱ هستند) [۳]. کانتور جابه‌جایی قائم دیوار نیز در شکل (۶) آورده شده است.

٤– بررسی مقاومت دیوار تقویت شده با شبکه آرماتور و شاتکریت

با توجه به انطباق مناسب نتایج تحلیل مدل المان محدود و نتایج آزمون دیوار آجری در آزمایشگاه می‌توان این مدل را برای دیوارهای تقویت شده با مش و شاتکریت تعمیم داد و از نتایج به‌دست آمده از تحلیل آنها ارزیابی قابل اطمینانی از رفتار و مقاومت دیوارها به‌دست آورد. بدین منظور در ادامه این بحث مدل تحلیلی یک دیوار آجری غیرمسلح در حالتهای مختلف (با بازشو و بدون بازشو) مورد بررسی قرار گرفت.در مرحله بعد مدلهای تقویت شده متناظر این دیوار نیز ساخته شد و نتایج پس از تحلیل با هم مقایسه شدند.

دیوار آجری انتخابی به طول ۳m و ارتفاع ۲m و ضخامت ۲۲cm است. برای اعمال بار قائم و جانبی به دیوار تیر بارگذاری

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.2.15.7]

جدول ۱- مقاومت حد ترک و گسیختگی نهایی در مدلها

نسبت مقاومت حد نهایی به مقاومت ترک خوردگی	مقاومت نهایی	بار جانبی در لحظهٔ ترک اول	وضعیت	دیوار آجری
۱/۲ ۲/۸	۷۲ KN رفت ۳۰۵ KN رفت ٤/۲	۵۸ KN رفت ۱۰۸ KN رفت ۱/۹	بدون تقویت تقویت شده میزان افزایش	بدون بازشو
۱/٦ ۱/۳	٦۷ KN رفت ۲۰۰ KN برگشت ۳/۰	٤۲/۵ KN رفت ٦٤ KN رفت ۱/۵	بدون تقویت تقویت شده میزان افزایش	بازشو به‌شکل پنجره
۱/۳ ۲/٦	۵۷ KN رفت ۲۰۰ KN برگشت ۳/۵	٤۲/۵ KN رفت ۷۰ KN رفت ۱/۵	بدون تقویت تقویت شده میزان افزایش	باز شو به‌شکل در

به مقطع ۲۲×۳۰cm در بالای دیوار مدلسازی شد. بار قائم وارد به دیوار نیز برابر KN/m ۲٤/۵ در نظر گرفته شد. برای بررسی اثر بازشو در دیوار آجری و همچنین تاثیر تقویت دیوار در این حالت، مدل دیوار با بازشو نیز مورد بررسی قرار گرفت. در مورد اول بازشو به‌صورت پنجره و به ابعاد ۱۱۰×۸۰cm و در مرحله بعد دیوار آجری با بازشو به‌صورت درب به ابعاد ۹۰×۱٤۰cm در بخش میانی دیوار به‌صورت متقارن در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه وجود بازشو باعث ایجاد ترک و تغییر شکلهای زیاد دیوار در محل بازشو به‌علت بار قائم خواهد شد لذا تیر نعل درگاهی بتنی در بالای پنجره و درب مدلسازی شد.

در مرحله بعد دیوار آجری تقویت شده مدلسازی شد. با توجه به اینکه شاتکریت به همراه مش روی دیوار در حقیقت بتن مسلح ایجاد می‌کنند لذا المان استفاده شده برای مدلسازی شاتکریت نیز المان SOLID65 است. المانهای شاتکریت در مقایسه با المانهای بنایی،صلبیت همچنین مقاومت کششی و فشاری بالاتری دارند. المانهای روکش در دو طرف دیوار و به ضخامت ۵ cm در هر طرف منظور شد.شبکه آرماتور مصرفی در بتن تقویت دیوار به‌صورت آرماتورهای به قطر ۸mm در فواصل ۱۰cm در نظر گرفته شد (Φ8@10cm) . مقدار آرماتور به‌صورت درصد حجمی به المان SOLID65 داده می‌شود ، لذا درصد آرماتور المانهای شاتکریت برابر (۱٪) به‌دست می‌آید که در جهت افقی و قائم اعمال شد.

در مدلسازی شاتکریت فرض می‌شود که المانهای بتن به المانهای بنایی به‌خوبی متصل شده‌اند به‌گونه‌ای که در اثر اعمال بار جانبی و قائم، روکش از دیوار جدا نشده و کمانش نمی‌کند و کل مقطع به‌صورت یکپارچه عمل می‌کند. ضمناً فرض شد که آرماتورهای قائم روکش داخل فونداسیون ادامه یافته‌اند به‌گونه‌ای که طول مهاری مناسب آرماتورهای قائم تامین شده و این آرماتورها در پای دیوار می‌توانند به ظرفیت پلاستیک کامل خود برسند.

بار جانبی نیز مشابه حالت قبل به گره‌های جانبی تیر بارگذاری به‌صورت رفت و برگشتی اعمال شد. مقدار بارجانبی از مقدار حداقل که باعث وقوع اولین ترک در دیوار شود آغاز شد و تا مقداری که باعث گسیختگی کامل دیوارها شود (بسته به مقاومت هر دیوار) به‌صورت مرحله‌ای افزایش یافت.

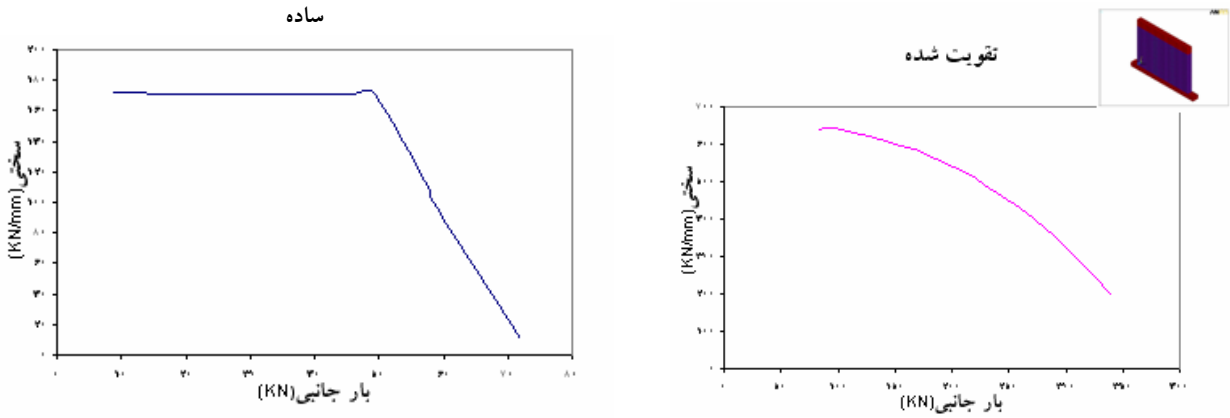
۵- بررسی تأثیر روکش در مقاومت و رفتار دیوار آجری

نتایج تحلیل نشان می دهد اضافه شدن روکش تأثیرات مهمی در مقاومت و سختی دیوارها دارد که به‌طور مختصر می‌توان موارد زیر را جمع بندی کرد :

۵-۱- ترک خوردگی و مقاومت نهایی

دیوارهای تقویت شده در مقایسه با دیوارهای ساده در بار جانبی بالاتری ترک خورده اولین ترکها نیز در المانهای شاتکریت ظاهر شدند. جدول (۱) نشان دهندهٔ مقاومت حد الاستیک (ترک) و مقاومت در لحظهٔ گسیختگی است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در اثر اعمال روکش میزان مقاومت

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.2.15.7]



شکل ۹- مقایسه منحنی تغییرات سختی دیوارهای تقویت شده و تقویت نشده با بار جانبی [٤]

حد ترک ۱/۵تا ۱/۹ برابر و مقاومت نهایی ۳ تا ٤/۲ برابر می‌شود.همچنین ستون انتهایی جدول (۱) نشان دهندهٔ نسبت مقاومت در حد نهایی به مقاومت ترک‌خوردگی است. ملاحظه می‌شود که نسبت مقاومت حد نهایی به مقاومت حد الاستیک در دیوارهای تقویت شده نسبت به دیوارهای ساده تا ۳ برابر بیشتر است. این مطلب بدین معناست که دیوارهای روکش شده پس از ترک خوردگی و تغییر شکلهای پلاستیک ظرفیت باربری خود را از دست نمی دهند یا به‌عبارت دیگر همانند دیوارهای تقویت نشده وقوع ترک مساوی با انهدام کامل دیوار نیست.

۵-۲- سختی

در اثر اعمال روکش سختی دیوار به‌طور مشخصی افزایش می‌یابد.شکل (۹) تغییرات سختی دیوار آجری تقویت شده و بدون تقویت را با بار جانبی نشان می‌دهند. با ایجاد روکش سختی جانبی دیوار تقریبا تا ٦ برابر افزایش یافت. نکته دیگر تغییرات سختی با بارجانبی است همان‌طور که ملاحظه می‌شود دیوار آجری بدون تقویت بلافاصله پس از به‌وجود آمدن ترک و تغییر شکلهای پلاستیک سختی خود را از دست می‌دهد (منحنی با شیب تندی سقوط می‌کند). لیکن در نمونه تقویت شده شیب منحنی ملایمتر بوده و سختی با روند کندتری کاهش می‌یابد.

۵-۳- منحنی هیسترزیس

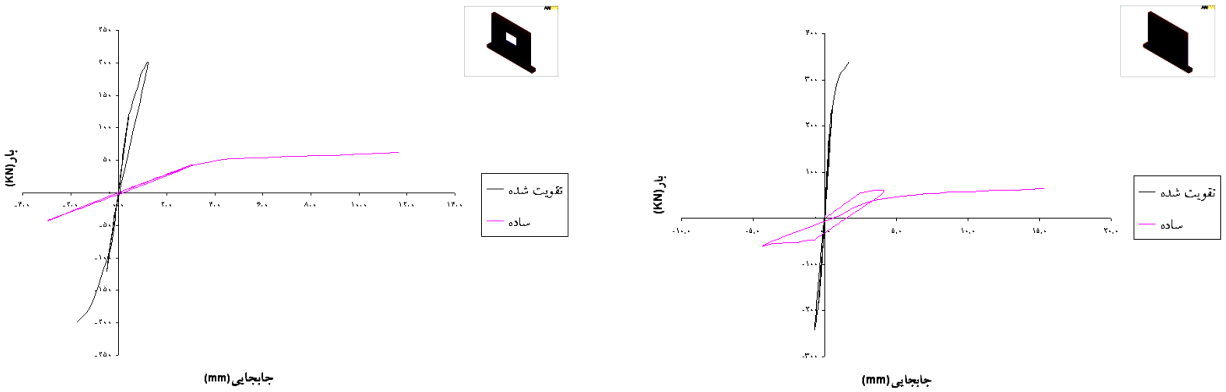
سطح زیرمنحنی هیسترزیس نشان دهندهٔ مقدار انرژی تلف شده به صورت گرماست و به هر میزان که منحنی هیسترزیس چاق‌تر باشد این انرژی تلف شده بیشتر خواهد بود[۲] . لذا برای بررسی میزان جذب انرژی دیوار روکش شده و دیوار بدون روکش، منحنی هیسترزیس دیوارها ترسیم شده است شکل (۹).

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در دیوار آجری ساده میزان جذب انرژی در محدودهٔ رفتار الاستیک بسیار کم و برابر صفر است. بعد از ترک خوردگی سطح زیر منحنی به یکباره افزایش یافته که نشانگر جذب و اتلاف انرژی زیاد است اما باید توجه کرد که روند جذب انرژی بالا تنها در یک یا دو سیکل ادامه می‌یابد و در سیکلهای بعدی متوقف می‌شود.

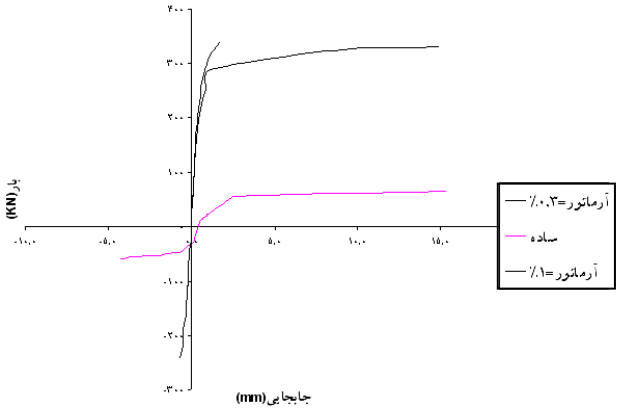
در مدل تقویت شده اگرچه دیوار پس از به‌وجود آمدن ترکها و وقوع تغییر شکل پلاستیک ظرفیت باربری خود را از دست نداده و می‌تواند بار جانبی تا بیش از دو برابرمقاومت حد ترک خوردگی را تحمل کند، لیکن میزان تغییر شکل جانبی و در نتیجه شکل پذیری دیوار به‌علت بالا بودن سختی و ترد بودن رفتار دیوار روکش شده کم است. همان‌گونه که در شکل (۱۰) ملاحظه می‌شود سطح زیر منحنیهای هیسترزیس دیوار آجری تقویت شده بسیار کم بوده که نشان دهنده ظرفیت اتلاف انرژی پایین آن است.

علت کم بودن میزان شکل پذیری و جذب انرژی دیوار درصد نسبتا بالای آرماتور انتخابی برای المانهای شاتکریت (۱٪) است.از آنجایی‌که شکل پذیری بتن کم بوده و ماده‌ای ترد محسوب می‌شود در مقاطع بتن مسلح، آرماتورهای فولادی

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.2.15.7]



شکل۱۰- مقایسه منحنی هیسترزیس دیوارهای آجری تقویت شده و تقویت نشده[٤]



الف)دیوار بدون روکش

ب)دیوار با روکش و درصد آرماتور ٪۱

پ)دیوار با روکش و درصد آرماتور ٪(۰/۳)

شکل ۱۱- پوش منحنیهای هیسترزیس [٤]

علاوه بر فراهم نمودن مقاومت کششی ، عامل اصلی افزایش شکل پذیری نیز محسوب می‌گردند زیرا آرماتورها در کشش تسلیم شده وقبل از رسیدن به حد گسیختگی تغییر شکلهای زیاد تحمل می‌کنند. بالا رفتن درصد آرماتور در مقاطع بتنی باعث می‌شود تا آرماتور ها که عامل اصلی شکل پذیری در مقاطع بتن مسلح‌اند در مقاومت گسیختگی بتن به حد تسلیم خود نرسیده و لذا مقطع به‌صورت ترد دچار شکست شود.

با بررسی جدول خروجی المان میزان تنش آرماتورها را می‌توان به‌دست آورد. ملاحظه شد که در دیوارهای آجری روکش شده میزان تنش حداکثر آرماتورهای قائم در المانهای روکش به 0/6Fy و کمتر محدود می‌شود و آرماتورها هنوز به تنش تسلیم نهایی خود نرسیده‌اند. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که درصد آرماتور انتخابی ٪۱ در المانهای روکش زیاد است.

برای بررسی این مورد ، مدل دیوار آجری تقویت شده بدون بازشو با درصد آرماتورهای افقی و قائم برابر(٪۰/۳) تحلیل شد.در این حالت آرماتورهای کششی به حد تسلیم خود رسیده وتغییر مکان نهایی انتهای دیوار در لحظه قبل گسیختگی برابر ۸mm به‌دست آمد. شکل (۱۱) پوش منحنی هیسترزیس دیوار در این حالت را در مقایسه با دیوار بدون روکش و دیوار روکش شده با درصد آرماتور ۱ درصد نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کاهش میزان آرماتورها به (٪۰/۳) نه تنها مقاومت دیوار را کاهش نمی‌دهد بلکه باعث می‌شود میزان تغییر شکلهای نهایی چند برابر شده و سطح زیر منحنی هیسترزیس افزایش یابد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به‌منظور عملکرد شکل پذیر دیوار تقویت شده باید درصد آرماتور المانهای شاتکریت را کاهش داد به‌گونه‌ای که در اثر اعمال بار جانبی رفت و برگشتی به حد تسلیم خود برسند.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.2.15.7]

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق نتایج ذیل پس از بررسی تحلیلها و محاسبات و نمودارها به‌دست آمده است:

۱- ایجاد روکش بتنی مسلح در دیوار آجری تحلیل شده مقاومت حد الاستیک را به‌طور متوسط ۱/٦ برابر و مقاومت حد نهایی را ۳ تا ٤/۲ برابر افزایش داد.

۲- دیوار آجری روکش دار برخلاف دیوارهای آجری ساده بعد از وقوع ترک مقاومت خود را از دست نداده و تا ۳ برابر نیروی حد ترک خوردگی بار تحمل کرد.

۳- سختی دیوار روکش‌دار ٦ برابر نسبت به دیوار بدون روکش بیشتر شد.

٤- روند کاهش سختی در دیوار روکش دار نسبت به دیوار بدون روکش کندتر است.

۵- میزان آرماتور روکش بتنی نقش تعیین کننده‌ای در شکل پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی دیوارهای تقویت شده دارد. برای افزایش میزان شکل پذیری و جذب انرژی باید میزان آرماتور در المانهای روکش محدود شود. پیشنهاد می‌شود درصد آرماتور حداقل توصیه شده برای مقاطع خمشی (14/Fy) در روکشهای بتنی قرار داده شود.

مراجع

1. SAS IP Inc.; ANSYS Theory Manual; Edited by kohnke, Peter; **8**th edition; **1997**.

۲. تسنیمی ،ع، بررسی تجربی روشهای مقاوم سازی ساختمانهای آجری نیم اسکلت در بابر زلزله (گزارش مرحله اول) ؛۱ج، چ۱، تهران:کمیته فرعی-تخصصی مقابله با خطرات ناشی از زلزله و لغزش لایه‌های زمین، ۱۳۸۰.

3. SAS IP Inc..;ANSYS Element Manual, 9th Edition; **1997**

٤. قدس، س، "مقاوم سازی دیوارهای آجری تقویت شده با شبکه آرماتور و شاتکریت،" پایان نامه دوره کارشناسی ارشد سازه، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران، زمستان ۱۳۸۲. زیر نظر دکتر فریبرز ناطقی الهی.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.2.15.7]